



III-377 – PERSPECTIVAS DO APROVEITAMENTO DE RESÍDUO DE CASCA DE COCO EM PRODUTOS DE FIBROCIMENTO

Vanessa Lúcia Carneiro⁽¹⁾

Engenheira de Alimentos pela Universidade Estadual de Feira de Santana. Mestranda em Engenharia Civil e Ambiental pela Universidade Estadual de Feira de Santana.

Paulo Roberto Lopes Lima

Engenheiro Civil pela Universidade Estadual de Feira de Santana. Doutor em Engenharia Civil pela Universidade Federal do Rio de Janeiro. Professor Titular da Universidade Estadual de Feira de Santana, pertencendo ao corpo docente do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental.

Mônica Batista Leite

Engenheira Civil pela Universidade Estadual de Feira de Santana. Doutora em Engenharia Civil pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Professora Titular da Universidade Estadual de Feira de Santana, pertencendo ao corpo docente do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental.

Endereço⁽¹⁾: Av. Transnordestina, S/N, Novo Horizonte, Feira de Santana-BA - CEP: 44031-460 - Brasil - Tel: (75) 32248310 - e-mail: vanessaluciacarneiro@yahoo.com.br

RESUMO

A elevada produção de coco em vários países do mundo, inclusive no Brasil, representa a geração de um grande volume de cascas, as quais podem acarretar impactos ambientais. Por esse motivo, várias propostas de reciclagem desse resíduo têm sido apresentadas, como por exemplo, o uso das fibras extraídas da casca em materiais de construção. Este trabalho expõe a problemática ambiental que envolve as cascas de coco e apresenta algumas aplicações das fibras extraídas das mesmas em artesanato, indústrias, entre outras. A utilização dessas fibras no setor da construção civil é enfatizada. Por esse motivo, a composição química, as características morfológicas e as propriedades físicas e mecânicas da fibra de coco, que propiciam seu aproveitamento como reforço de matrizes cimentícias, são descritas. Por fim, o comportamento mecânico e a durabilidade de produtos de fibrocimento já desenvolvidos com essa fibra são discutidos. Os estudos sugerem que o uso de fibras de coco na construção civil é promissor.

PALAVRAS-CHAVE: Produção de Coco, Impacto Ambiental, Fibra de Coco, Fibrocimento, Desempenho dos Compósitos.

INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, a produção de coco apresentou notável crescimento nos âmbitos mundial, nacional, regional (Nordeste), estadual (Bahia) e municipal (Feira de Santana) (IBGE-PAM, 2006; FAO, 2008). Esses dados indicam a geração de um grande volume de resíduos sólidos, representados pelas cascas de coco, provenientes não apenas do consumo da água do fruto verde *in natura*, como também das indústrias processadoras de coco. Dessa maneira, é imprescindível a busca por alternativas de aproveitamento da casca de coco, que corresponde a cerca de 85% do peso bruto do fruto verde (SENHORAS, 2005) e a aproximadamente 57% do fruto seco (NUNES, 2002), a fim de amenizar os impactos ambientais provocados por esse resíduo. O uso das fibras extraídas da casca de coco na construção civil é uma opção de valorização desse material.

Este trabalho expõe a problemática ambiental que envolve as cascas de coco e apresenta algumas aplicações das fibras extraídas das mesmas em artesanato, indústrias, entre outras. A utilização dessas fibras no setor da construção civil é enfatizada. Por esse motivo, a composição química, as características morfológicas e as propriedades físicas e mecânicas da fibra de coco, que propiciam seu aproveitamento como reforço de matrizes cimentícias, são descritas. Por fim, o comportamento mecânico e a durabilidade de produtos de fibrocimento desenvolvidos com essa fibra são discutidos.



GERAÇÃO E GESTÃO DO RESÍDUO DE COCO

PRODUÇÃO E USO DO COCO

A produção de coco, nos âmbitos mundial, nacional (Brasil), regional (Nordeste), estadual (Bahia) e municipal (Feira de Santana) tem sido bastante elevada. A Tabela 1 apresenta os principais países produtores de coco.

Tabela 1: Principais países produtores de coco e a respectiva quantidade de fruto produzida (1000 toneladas), no período de 2000 a 2007.

PAÍS	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
Indonésia	15.240	15.815	15.495	16.145	16.285	18.250	16.375	17.000
Filipinas	12.995	13.146	14.069	14.294	14.366	14.825	14.958	15.580
Índia	9.420	9.530	8.942	9.314	9.048	9.535	11.005	9.400
Brasil	1.952	2.131	2.892	2.978	3.117	3.119	2.978	2.771
Tailândia	1.400	1.396	1.877	1.957	2.126	1.871	1.815	1.705
Sri Lanka	2.353	2.104	1.818	1.947	1.969	1.912	913	954
México	1.117	1.100	1.129	1.027	1.250	1.167	102	102

Fonte: FAO, 2008.

A partir dos dados apresentados na Tabela 1, verifica-se que a Indonésia representa o maior produtor mundial de coco, seguida das Filipinas, Índia e Brasil. A quantidade do fruto produzida nesses países tem se mantido elevada no decorrer dos últimos oito anos.

A Tabela 2 contém os dados de produção de coco-da-baía no Brasil, Nordeste, Bahia e Feira de Santana, no período de 2000 a 2006.

Tabela 2: Quantidade produzida de coco-da-baía (mil frutos) no Brasil, Região Nordeste, Bahia e Feira de Santana, no período de 2000 a 2006.

ANO	BRASIL	NORDESTE	BAHIA	FEIRA DE SANTANA
2000	1.301.411	932.960	402.937	700
2001	1.420.547	960.569	424.444	360
2002	1.928.236	1.398.951	731.208	885
2003	1.985.661	1.432.992	684.016	1.006
2004	2.078.226	1.467.822	705.732	1.006
2005	2.079.291	1.432.211	713.571	1.000
2006	1.985.478	1.320.933	628.376	1.158

Fonte: IBGE-PAM, 2006.

Da mesma forma, a quantidade produzida de fruto é muito expressiva, principalmente a nível nacional, regional e estadual. Feira de Santana, por não constituir uma cidade litorânea, apresenta uma produção pequena. Entretanto, é provável que cocos provenientes de outras localidades sejam comercializados no município. Isto implica em maior volume de resíduo de coco gerado na cidade.

Os dados da Tabela 2 permitem inferir que, em 2006, a região Nordeste concentrou 66,5 % da produção nacional. A produção baiana, por sua vez, correspondeu a 47,6 % da quantidade produzida nessa região e a 31,6 % do total produzido no país, sendo o maior produtor nacional de coco-da-baía.

O total de frutos produzidos no país é comercializado conforme mostrado na Figura 1, segundo levantamento realizado pela ASBRACOCO (CUENCA et al., 2002).

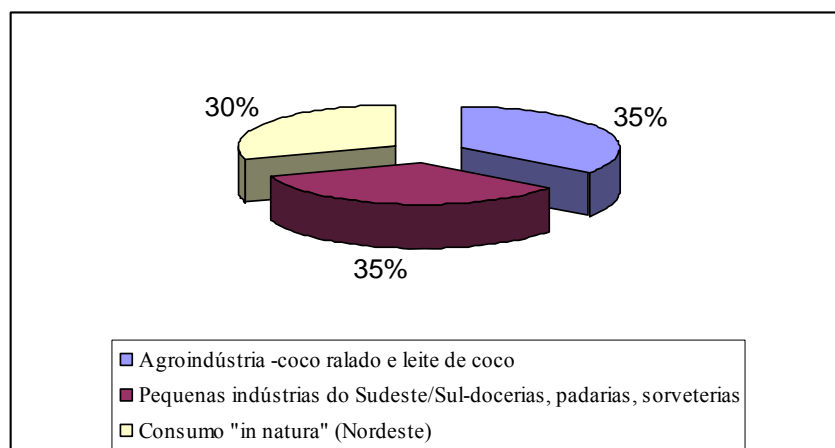


Figura 1: Mercado consumidor da produção nacional de coco.

O percentual destinado às agroindústrias visa à produção de coco ralado e leite de coco, os quais constituem matéria-prima para empresas de grande porte produtoras de chocolate, biscoito, iogurtes, sorvetes e padarias. Cerca de 99% desta porcentagem constitui coco seco.

A fração direcionada para os mercados Sudeste/Sul atende às pequenas indústrias, tais como docerias, padarias, sorveterias, entre outras. Neste caso, 90% dos frutos utilizados são verdes e o restante, secos. Verifica-se que, no Nordeste, o coco é consumido “in natura”, tanto verde como seco. Dessa maneira, 62% do coco são utilizados secos e 38%, ainda verde.

GESTÃO DO RESÍDUO

A quantidade do resíduo de casca de coco gerado pode ser estimada a partir dos dados de produção de coco, considerando que cada fruto forneça 1,5 kg de casca. Os resultados estão apresentados na Tabela 3.

Tabela 3: Quantidade de casca de coco gerada no Brasil, Região Nordeste, Bahia e Feira de Santana, em 2006.

PAÍS/REGIÃO/ESTADO/MUNICÍPIO	QUANTIDADE DE CASCA (TONELADAS)
Brasil	2.980.000
Nordeste	1.980.000
Bahia	942.564
Feira de Santana	1.737

Em Feira de Santana, esse valor está subestimado, pois a cidade recebe frutos de outras localidades, cujas cascas significam resíduos gerados. Por outro lado, a quantidade de casca no Brasil, Nordeste e Bahia está superestimada, pois, nesse cálculo, não foi considerada a fração de coco exportada. Todavia, de qualquer maneira, o resíduo gerado é significativo.

As indústrias de alimentos representam potenciais fontes geradoras de cascas de coco (Figura 2a). Uma política de gestão de resíduos, voltada para a valorização dos mesmos nessas empresas, é bastante válida. A Sococo®, por exemplo, indústria alimentícia produtora de derivados de coco, sediada em Maceió (AL), processa um milhão de cocos diariamente, o que implica em um grande volume de cascas gerado. A empresa processa a fibra desse material, destinando-as para a indústria automobilística, na confecção de bancos de carros. O substrato restante é aditivado e transformado em adubo orgânico (SANTOS, 2008).

As feiras livres também contribuem significativamente com a geração desse resíduo, como mostra a Figura 2b.



(a) (b)
Figura 2: Cascas de coco oriundas de uma indústria alimentícia (a) e geradas na Feira Livre do bairro Estação Nova, Feira de Santana, Bahia, Brasil (b).

Geralmente as cascas de coco são conduzidas para aterros (sanitários e controlados) e vazadouros, reduzindo a vida útil dos mesmos e constituindo foco de proliferação de doenças, por apresentar degradação lenta (mais de oito anos). Além disso, acarreta maiores custos de coleta e contribui para a emissão de metano (segundo gás causador do efeito estufa de maior relevância), resultante da sua degradação anaeróbia (PASSOS, 2005). Frequentemente, a casca é também depositada em terrenos baldios, praias (Figura 3) e margens de estradas, trazendo os mesmos transtornos, mas em menor proporção (VILELA, 2007).

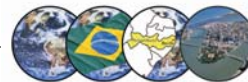


(a) (b)
Figura 3: Cascas de coco depositadas em (a) terreno baldio e (b) praia, ambos localizados na Praia de Coroa, município de Vera Cruz, Ilha de Itaparica, Bahia, Brasil.

Sendo assim, a valorização desse resíduo torna-se imprescindível.

A partir do beneficiamento da casca de coco, obtêm-se diversos produtos (Figura 4) que apresentam potencial para serem utilizados em diversas aplicações. A fibra constitui matéria-prima para a confecção de encosto de bancos para automóveis, mantas para contenção de encostas, estofamentos, vasos, artesanato, painéis e telhas para construção civil e indústria moveleira.

O pó (subproduto da produção da fibra) é aplicado como substrato agrícola, devido à sua alta capacidade de reter água e ao seu alto teor de potássio. Fibras curtas, que também representam resíduo da obtenção da fibra longa, são direcionadas para produção de bermalongas®.



(a) Fibra longa

(b) Pó de coco

(c) Fibra curta

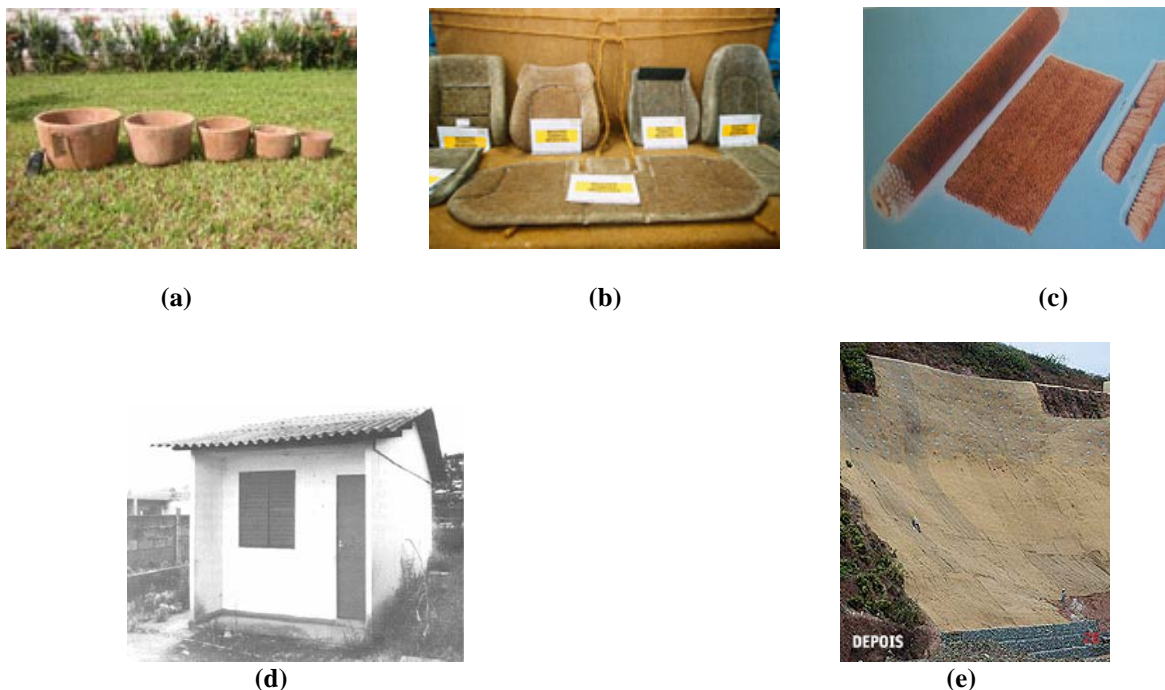
Figura 4: Produtos obtidos do beneficiamento da casca de coco.

A seguir, será enfatizado o uso das fibras de coco na construção civil.

REAPROVEITAMENTO DO RESÍDUO

O impacto ambiental provocado pela casca de coco tem impulsionado propostas para seu reaproveitamento (Figura 5).

A casca de coco, suas fibras e o pó (subproduto da obtenção da fibra) já são utilizadas em estofamentos, artesanato, xaxim, cobertura morta de solos, substrato agrícola, mantas para conter encostas, construção civil (painéis de revestimento, telhas, chapas de partículas, tijolos de adobe) e indústria moveleira, tendo potencial para ser aplicada na alimentação animal, produção de enzimas e de papel (devido ao teor de 35% de celulose), reforço de polímeros, preparação de carvão ativado e briquetes e cultivo de cogumelos (GRAM, 1988; GHAVAMI; TOLEDO FILHO; BARBOSA, 1999; CHIN; SIDDIQUI, 2000; CARRIJO; LIZ; MAKISHIMA, 2002; SILVA et al., 2003; CARRIJO et al., 2004; SENHORAS, 2005; PASSOS, 2005; SALAZAR; LEÃO, 2006; SILVA; SOARES; MATOS, 2006; PEDRA; MARINO, 2006; FERREIRA, 2007; SILVEIRA, 2008;). Neste trabalho, será enfatizado o uso das fibras de coco na construção civil. As características das fibras têm grande influência na sua performance, como reforço, em materiais de construção. Por esse motivo, serão descritas a seguir.



(a)

(b)

(c)

(d)

(e)

Figura 5: Produtos elaborados com fibra de coco- (a) vasos e (b) bancos de automóveis (POEMATEC, 2009); (c) escovas, capachos e vassouras (NUNES, 2002); (d) painéis na construção civil (JOHN et al., 2005); e mantas para contenção de encostas (DEFLOR, 2009).

CARACTERIZAÇÃO DA FIBRA DE COCO

COMPOSIÇÃO QUÍMICA

A fibra de coco, como toda fibra vegetal, é constituída, basicamente, de celulose, hemicelulose, lignina, pectina e minerais. Cada um desses constituintes contribui de uma maneira para as propriedades da fibra. A celulose, polissacarídeo linear de alto peso molecular, formado por unidades de glicose, representa 36 a 43% da fibra de coco e confere estabilidade e resistência à mesma. A hemicelulose também é um polissacarídeo, mas apresenta outros açúcares, além da glicose, em sua composição e possui menor grau de polimerização. Está presente na fibra de coco na proporção de 0,15 a 0,25 % e atua como elemento de ligação entre celulose e lignina. A lignina, por sua vez, é um polímero complexo, de estrutura amorfa, contendo constituintes aromáticos e alifáticos e que une as fibras celulósicas, formando a parede celular. Fornece resistência à compressão ao tecido celular e às fibras, confere rigidez à parede celular e protege os demais componentes da fibra contra danos físicos e químicos (PASSOS, 2005). Jústiz-Smith et al. (2008) ressaltam que o alto conteúdo de lignina na fibra oferece alta resistência ao apodrecimento sob condições de secagem e umedecimento. Dessa forma, a fibra de coco, caracterizada por conter uma elevada proporção de lignina (20 a 45%), segundo levantamento realizado por Passos (2005), exibe maior resistência e durabilidade que as demais fibras vegetais. O teor de lignina nas fibras é função da idade do fruto, sendo de 20% em coco jovem (colhido com 6 meses) e de 35% no fruto maduro (11 meses) (van DAM et al., 2004).

Fibras vegetais, como as de coco, também contêm resinas, polifenóis, óleos e graxas, os quais são genericamente denominados extrativos e são liberados pela fibra em solução aquosa. Essas substâncias retardam a pega do cimento, fato que deve ser considerado na produção de compósitos à base de cimento reforçados com este tipo de fibras (SAVASTANO JR; AGOPYAN; OLIVEIRA, 1997). Por esse motivo, um tratamento prévio dessas fibras, como lavagem em água com temperatura de aproximadamente 50° C, é recomendado.

MORFOLOGIA

A morfologia dessas fibras está apresentada na Figura 6. As fibras são constituídas de um feixe de células individuais, as quais, por sua vez, são compostas de microfibrilas (GRAM, 1988).

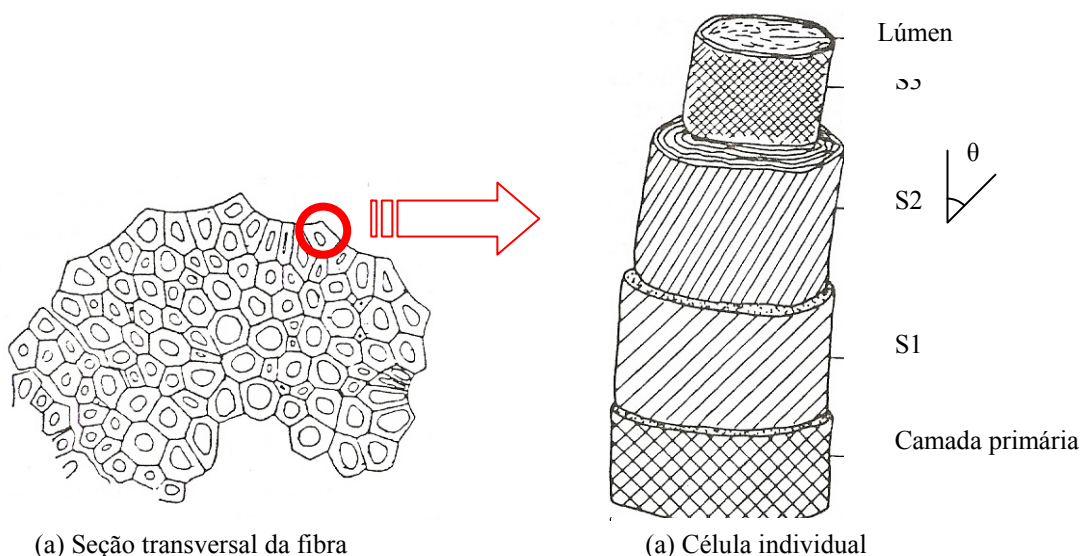


Figura 6: Estrutura de uma fibra vegetal (GRAM, 1988).

Verifica-se que cada célula é composta por quatro camadas de microfibrilas e uma cavidade central. As duas camadas mais externas (camada primária e S1) têm estrutura reticulada. Na camada S2, as microfibrilas estão orientadas segundo um ângulo θ , em relação ao eixo longitudinal da célula, em espiral. Constitui a camada mais espessa e com maior teor de celulose. O alongamento da fibra na ruptura é diretamente proporcional a esse ângulo, pois o trabalho de fratura é maior para proporcionar o estiramento das microfibrilas. (SAVASTANO JR; AGOPYAN; OLIVEIRA, 1997). Por outro lado, a resistência à tração e o módulo de



elasticidade decrescem com o incremento desse ângulo. O ângulo θ das microfibrilas é alto nas fibras de coco, estando na faixa de 30 a 49° (SAVASTANO JR; AGOPYAN; OLIVEIRA, 1997). Essa característica confere resistência à tração e módulo de elasticidade relativamente baixos e um alongamento na ruptura alto nas fibras de coco.

A camada mais interna (S3) também possui microfibrilas em espiral. As células são aglomeradas pela lamela intercelular, composta de hemicelulose, pectina e, principalmente, lignina. Por fim, o centro da fibra apresenta uma cavidade denominada lúmen ou lacuna, responsável pela alta absorção de água típica das células vegetais (GRAM, 1988).

A superfície da fibra de coco possui poros e tiloses que representam pontos de ancoragem, propiciando uma melhor aderência da fibra à matriz em que é inserida (SHIMIZU; JORILLO, 1992).

PROPRIEDADES FÍSICAS E MECÂNICAS

As propriedades físicas e mecânicas das fibras de coco estão apresentadas na Tabela 4.

Tabela 4: Propriedades físicas e mecânicas de fibras de coco.

PROPRIEDADES FÍSICAS	ABSORÇÃO DE ÁGUA (%)	120,00-180,00
	MASSA ESPECÍFICA (kg/m³)	1076,50-1450,00
	DIÂMETRO (mm)	0,10-0,40
	COMPRIMENTO (mm)	50,00-350,00
PROPRIEDADES MECÂNICAS	RESISTÊNCIA À TRAÇÃO (MPa)	95,00-200,00
	MÓDULO DE ELASTICIDADE (GPa)	2,80-26,00
	ALONGAMENTO NA RUPTURA (%)	3,30-45,00

Fonte: BENTUR; MINDESS, 2007; GUIMARÃES, 1987; LEVY NETO; PARDINI, 2006; AGOPYAN, 1988.

As fibras apresentam grande variabilidade em suas características, havendo divergências entre autores quanto à magnitude dessas propriedades. Tomczak, Sydenstricker e Satyanarayana (2007) citam alguns fatores que contribuem para essas discrepâncias, tais como área de produção e idade da árvore, variabilidade nas dimensões da fibra (diâmetro, comprimento) e tipo de tratamento ao qual a fibra pode ter sido submetida antes da determinação de suas propriedades.

Observa-se que a fibra de coco possui densidade baixa, grande capacidade de alongamento, resistência à tração e módulo de elasticidade relativamente pequenos.

APLICAÇÃO DE FIBRA DE COCO EM PRODUTOS DE FIBROCIMENTO

TIPOS DE APLICAÇÃO

A aplicação de fibras de coco em compósitos, no Brasil, surgiu com uma iniciativa do Centro de Pesquisa e Desenvolvimento (CEPED), na Bahia. Telhas e pias artesanais foram produzidas, mas sem qualidade necessária para substituir o cimento-amianto. Essas pesquisas impulsionaram outros estudos sobre o aproveitamento dessas fibras em compósitos. Ainda no CEPED (CEPED, 1982, 1984, 1985, GUIMARÃES, 1984 apud AGOPYAN, 1988, p. 229; GUIMARÃES, 1987), telhas, em formato de calha, com 1,8 m de comprimento, 41 cm de largura e 1,5 cm de espessura foram desenvolvidas. Os efeitos do comprimento e volume das fibras, composição da matriz, método de produção e trabalhabilidade foram avaliados. A matriz da telha era composta de argamassa de cimento e areia na proporção 1:3 em volume. As fibras foram cortadas em segmentos de 4 cm. A relação água/cimento foi de 0,7 e o volume de fibra, cerca de 2%. Quando o comprimento da telha é curto, o volume de fibra pode ser reduzido, sendo sugerido 1% para telhas de 1 m de comprimento. Telhas preparadas com argamassa de relação água/cimento 0,85 e 1% de fibras de 4 cm apresentaram resistência 83% maior que as telhas não reforçadas. Com fibras de 1 cm de comprimento, o incremento na resistência foi de 46%. Os resultados obtidos mostraram ainda que o uso de fibras vegetais para reforçar argamassas as torna mais seguras devido à ductilidade pós-fissuração, que assegura fratura suave,



com distribuição das fissuras sem separação das partes danificadas, se a aderência for efetiva. Portanto é possível a confecção de telhas com esse material (GUIMARÃES, 1987).

O método de produção das telhas no CEPED é descrito por Agopyan (1988) e percebe-se que o procedimento é simples, artesanal, podendo ser executado por mão-de-obra não especializada e sem equipamentos. Por esta razão, pode ser adotado em áreas rurais, representando, assim, uma alternativa de geração de renda para a população dessas regiões.

Ghavami et al. (apud AGOPYAN, 1988, p.270) produziram, no Brasil, em laboratório, telhas de concreto reforçadas com fibra de coco, com dimensões de 200x200x10-30 mm, utilizando prensagem.

Ghavami e Hombeeck (apud AGOPYAN, 1988, p.229) tentaram produzir telhas com fibra de coco, obtendo os melhores resultados com uma proporção cimento:areia de 4:9, fibra:cimento de 1:6 e água:cimento de 19:24, em peso. As telhas foram prensadas (2MPa) por 5 minutos. Os autores constataram que a propriedade de isolamento térmico deste produto é 20% maior que as telhas de cimento-asbesto.

Savastano et al. (1999) produziram telhas de argamassa de escória de alto forno, reforçada com fibras vegetais, dentre as quais, fibras de coco. A relação cimento:areia utilizada foi de 1:1,5, a relação água/cimento, de 0,40 e 0,48 e volume de fibras de 2%. Comprimentos de 20 a 40 mm foram adotados para as fibras. As telhas foram moldadas e adensadas por vibração e exibiram propriedades físicas e mecânicas aceitáveis, inclusive incremento na ductilidade das mesmas.

Savastano Jr e Pimentel (2000) estudaram telhas, estilo romano, com dimensões de 487 x 263 mm, reforçadas com fibras vegetais. Adotou-se a proporção cimento: areia de 1: 1,5, relação água/cimento de 0,5 e volume de fibras de 2%. As telhas contendo fibra de coco, moldadas e adensadas por vibração, atenderam às especificações de normas técnicas pertinentes, no que diz respeito a empenamento, absorção de água, permeabilidade e desempenho mecânico à flexão.

Khedari et al. (2001) avaliaram materiais de construção contendo cimento, areia e fibras de resíduos de cocos jovens. Concluíram que as fibras propiciaram a redução na condutividade térmica e da densidade do compósito e apontaram a possibilidade do uso desses materiais em telhas e paredes.

John et al. (2005) analisaram a durabilidade de painéis de argamassa de escória de alto forno reforçada com fibra de coco, aplicados em construções de 12 anos de idade, em São Paulo (Brasil). Apesar de testes apontarem alguns indícios de redução no teor de lignina das fibras, os painéis demonstraram desempenho suficiente.

COMPORTAMENTO MECÂNICO

Um dos requisitos que determinam a utilização de um material é o comportamento mecânico do mesmo. Vários autores desenvolveram estudos sobre esse assunto para compósitos cimentícios contendo fibra de coco. Alguns são referenciados a seguir.

Paramasivan, Nathan e Gupta (1984) realizaram ensaio de flexão em placas corrugadas de cimento reforçadas com fibra de coco. Observaram que um volume de 3% de fibra , com 25 mm de comprimento propiciaram os melhores resultados de resistência à flexão, valores recomendados pelos autores para obter uma resistência de 22N/mm². Concluíram que placas reforçadas com fibra de coco exibem performance comparável às de asbesto, podendo ser utilizadas em construções de baixo custo, em países em desenvolvimento.

Hussin e Zakaria (1990) também estudaram o comportamento mecânico na flexão de chapas delgadas lisas e corrugadas, fabricadas com pasta de cimento e seis diferentes volumes de fibra de coco (1 a 6%). Os resultados indicaram que a resistência à flexão das chapas aumenta à medida que o volume de fibra cresce. Todavia, a partir de 5%, o emaranhamento das fibras prejudica a adesão fibra/matriz, afetando o comportamento mecânico das chapas. Assim, o volume de 4% ofereceu os melhores resultados (valor compatível com aquele obtido por Paramasivan, Nathan e Gupta (1984)). As fibras proporcionaram maior deflexão central e ductilidade ao material. O volume de 6% de fibra ofereceu o melhor resultado com relação a este aspecto. A presença de fibras conduziu a uma múltipla fissuração das chapas e, portanto, a uma maior



capacidade de absorção de energia. As chapas corrugadas exibiram melhor desempenho que as lisas. Os autores afirmam que a aplicação de fibra de coco como reforço de chapas corrugadas é viável e promissora.

Shimizu e Jorillo Jr (1992) investigaram o efeito do volume e comprimento da fibra e da relação água cimento (qualidade da matriz) nas propriedades mecânicas de compósitos reforçados com fibra de coco. Observaram que a adição de fibra promoveu uma pequena redução no módulo de elasticidade do material. A resistência à compressão do compósito não foi afetada significativamente com um volume de fibra de até 2,5 %. Acima deste valor, verificou-se uma redução de 10% nessa resistência, a cada aumento de 0,5% no volume de fibra. O comprimento da fibra mostrou influência mínima na resistência à compressão do compósito. Uma menor relação água/cimento, ou seja, uma matriz mais compacta, em que a aderência com a fibra é mais eficiente, conduziu a uma resistência maior. Na flexão, os autores verificaram que a fibra proporcionou um incremento na tenacidade do material, mantendo-o íntegro após a fratura, evitando o colapso do mesmo. Fibras longas, por serem mais eficientes na transmissão de esforços para a matriz, promovem maior acréscimo na resistência à flexão. A taxa de aspecto (comprimento/diâmetro) das fibras curtas não mostrou efeito relevante nessa resistência, provavelmente devido ao emaranhamento das mesmas durante a mistura, o que impede que todo o comprimento exerça, efetivamente, a função de reforço. Os autores determinaram, ainda, o volume crítico (V_c) de fibras. Para fibras curtas, $V_c=6\%$ ($a/c=0,4$) e $V_c=8\%$ ($a/c=0,7$); para fibras longas, $V_c=4,5\%$. Por fim, os autores concluíram que os compósitos de fibrocimento reforçados com fibra de coco demonstraram propriedades mecânicas satisfatórias, sendo viável sua utilização na construção civil.

Toledo Filho, Lima e Ghavami (2002) desenvolveram um trabalho que buscou investigar a influência do tipo de fibra sobre a tenacidade de argamassas reforçadas com fibra de sisal e de coco. Esta última mostrou-se mais eficiente, oferecendo maior tenacidade ao compósito que a fibra de sisal.

Li, Wang e Wang (2006) estudaram a resistência à flexão de compósitos de argamassa reforçados com fibra de coco. Observaram que a adição das fibras aumentou a resistência da matriz de argamassa e a capacidade de absorção de energia da mesma.

Dessa forma, o comportamento mecânico de materiais cimentícios reforçados com fibra de coco exibem um desempenho animador, sugerindo a possibilidade de seu uso na construção civil. Entretanto, os aspectos relacionados à sua durabilidade devem ser observados e serão abordados na próxima seção.

DURABILIDADE

Compósitos cimentícios reforçados com fibras vegetais podem sofrer degradação devido ao ataque alcalino ou microbiológico à fibra. A seguir, esses mecanismos são elucidados.

ATAQUE ALCALINO

A durabilidade dos compósitos contendo fibras vegetais é comprometida, dentre outros fatores, pelo ataque alcalino às fibras. As fibras vegetais são fortemente suscetíveis à alcalinidade do meio a que estão expostas. O principal agente responsável por esse processo de degradação é o hidróxido de cálcio, resultante da hidratação dos silicatos de cálcio que constituem o cimento Portland. O ataque alcalino às fibras vegetais pode se manifestar de duas maneiras. Uma destas é o mecanismo de “*peeling-off*”, que ocorre no final da cadeia molecular. O grupo terminal, que é redutor, reage com o íon OH^- e forma ácido isosacarínico (CH_2OH), que é removido da cadeia. Dessa maneira, os grupos terminais são liberados. Existe a possibilidade de o grupo terminal formar ácido metasacarínico, que não é removido da cadeia e é estável em solução alcalina. Entretanto, essa probabilidade é pequena (1:50). Como o grau de polimerização da celulose da fibra de sisal é alto (cerca de 25000), esse mecanismo é inofensivo; no entanto, na hemicelulose, cujo grau de polimerização é baixo (entre 50 e 200), o efeito é significativo (GRAM, 1988).

A hidrólise alcalina representa a outra forma de ataque alcalino às fibras. As moléculas de celulose, hemicelulose e lignina são hidrolisadas e o grau de polimerização das mesmas é reduzido. Como consequência, a resistência da fibra também decresce. Esse processo induz a ocorrência do “*peeling-off*”, pois expõe novos grupos terminais redutivos (GRAM, 1988). A decomposição da lignina e da hemicelulose presentes na lamela média promove a segregação das células individuais que compõem a fibra, reduzindo sua resistência e capacidade de reforço. Fibras de sisal e de coco chegam a apresentar até 50% de perda de



resistência à tração, imersas em solução de hidróxido de cálcio ($\text{pH} \approx 12$) durante 28 dias (SAVASTANO JR; AGOPYAN; OLIVEIRA, 1997). Os autores observaram que as fibras de coco apresentaram decomposição mais lenta quando comparada com as de sisal, submetida às mesmas condições, justificando esse fato pela estrutura mais fechada das fibras de coco, que contêm uma camada protetora, composta de lignina. Após 300 dias de imersão, as fibras de sisal e coco perdem completamente sua flexibilidade (TOLEDO FILHO et al., 2000). Todavia, fibras imersas em solução de $\text{Ca}(\text{OH})_2$, com $\text{pH} = 12$ e posteriormente secas, exibiram maior resistência à tração, possivelmente devido à reorganização da hemicelulose e da lignina na lamela média durante a secagem (GRAM, 1988).

O hidróxido de cálcio pode, ainda, preencher o lúmen das células que constituem a fibra (mineralização) e a flexibilidade da mesma é afetada (GRAM, 1988).

Visando sanar ou minimizar esse problema, várias pesquisas têm sido desenvolvidas sugerindo soluções, dentre as quais a redução da alcalinidade da matriz e o fechamento da estrutura de poros presente na mesma, que conduzem a resultados promissores. Isso pode ser alcançado pela substituição parcial de cimento por materiais pozolânicos, tais como metacaulinita, sílica ativa, cinza de casca de arroz e pumicita (TOLEDO FILHO et al., 2003). Esses materiais pozolânicos reagem com o hidróxido de cálcio (reação pozolânica), oriundo da hidratação dos silicatos de cálcio, principais componentes do cimento Portland, produzindo mais silicatos de cálcio hidratados (C-S-H). Dessa forma, essa reação consome o hidróxido, um dos compostos que conferem alcalinidade à matriz, reduzindo o pH da mesma e, conseqüentemente a degradação das fibras inseridas no compósito. Além disso, as pozolanas atuam preenchendo os poros da matriz (efeito “filler”), tornando melhor a aderência fibra-matriz e reduzindo a permeabilidade do material, evitando, assim, a penetração de agentes agressivos à fibra (MEHTA; MONTEIRO, 1994).

Gram e Nimityongskul (1987) avaliaram o efeito da substituição parcial do cimento Portland por cinza de casca de arroz sobre a durabilidade de argamassa reforçada com fibra de coco. Constataram que o resultado foi bastante satisfatório.

Savastano Jr, Agopyan e Oliveira (1997) citam experimentos nos quais a durabilidade dos compósitos foi avaliada por meio do envelhecimento natural e afirma que este depende das condições do local de exposição (índice pluviométrico, temperaturas máxima e mínima, umidade relativa do ar e insolação diária). Os autores consideram esse método mais confiável e cita, dentre outros, o trabalho de Agopyan et al. (1990), em que painéis de vedação vertical foram fabricados com escória de alto forno e reforçados com fibra de coco, exibindo excelente durabilidade. Outro estudo mencionado é o de Hussin e Zakaria (1990), que empregaram placas lisas e corrugadas de pasta de cimento Portland reforçada com fibra de coco, exposta à intempérie, na Malásia, por um período de até um ano. Uma vez que foi observada uma redução de até 30% na resistência à tração na flexão, após o envelhecimento, os autores recomendaram o tratamento das fibras ou a substituição parcial do cimento por pozolanas de alta reatividade.

Toledo Filho et al. (2000) estudaram a durabilidade de fibras de coco e de sisal, quando imersas em água e em solução de hidróxido de cálcio e de sódio, através da medida da perda de resistência à tração das mesmas. Concluíram que tais fibras são altamente sensíveis à alcalinidade da matriz cimentícia e observaram a perda completa da flexibilidade após 300 dias de imersão em hidróxido de cálcio. Os autores avaliaram ainda a durabilidade de compósitos de argamassa reforçados com essas fibras, quando envelhecidos sob água de torneira, expostos ao ar e a ciclos controlados de umedecimento e secagem. Perceberam que os compósitos tornaram-se frágeis, devido à deterioração das fibras e sugeriram soluções para torná-los mais duráveis, dentre as quais, está a modificação da matriz através da substituição parcial do cimento por sílica ativa e escória de alto forno. Em 2003, esses autores publicaram um artigo apresentando os resultados da avaliação da durabilidade desses compósitos com a substituição do cimento por esses materiais. O efeito da adição de sílica ativa sobre a durabilidade do compósito foi animador. Por outro lado, a escória não mostrou eficiência satisfatória.

BIODEGRADAÇÃO

Além do ataque alcalino, os compósitos de fibrocimento com fibra de coco podem estar sujeitos à ação microbiológica nas fibras.



Shimizu e Jorillo Jr (1992) observaram que fibras de coco imersas em água por longos períodos mostram indícios de ataque microbiológico.

Estudo de Salazar e Leão (2006), envolvendo ensaios de biodegradabilidade de fibras de coco e de sisal, indicou que as mesmas são vulneráveis à ação de fungos tais como *Aspergillus niger*, *Penicillium funiculosum*, *Gliocladium virens*, *Chaetomium globosum* e *Paecilomyces variotti*. Este ataque biológico foi evidenciado pela perda de resistência das fibras, após 90 dias expostas à ação fúngica. Todavia, a fibra de coco mostrou biodegradação mais lenta devido ao maior teor de lignina que apresenta.

Em compósitos de fibrocimento, alguns autores afirmam que parte da perda de durabilidade desses materiais pode estar associada a esse fenômeno (GRAM, 1983, 1990; RIBAS SILVA, 1990), mas ainda não existe comprovação experimental.

CONCLUSÃO

A aplicação de fibras de coco na elaboração de compósitos de fibrocimento é viável, no que concerne ao desempenho do material, e pode trazer benefícios ambientais, econômicos e sociais. A ampliação da vida útil de aterros e vazadouros, a menor incidência de doenças e a redução significativa dos custos de coleta e dos níveis de metano emitidos para a atmosfera representam as consequências benéficas do aproveitamento das cascas de coco para o meio ambiente. Existem também benefícios econômicos, uma vez que se pode obter renda através da comercialização de produtos, a princípio, competitivos, por serem de menor custo e mais leves (devido à presença das fibras), sendo que a capacidade de produção é garantida pela abundância da matéria-prima. Embora a quantidade de fibra de coco disponível não seja suficiente para possibilitar a fabricação em larga escala desses materiais, pode ser destinada à elaboração de produtos para aplicação em construções de baixo custo, favorecendo populações carentes.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. AGOPYAN, Vahan. Vegetable fibre reinforced building materials-developments in Brasil and other Latin American countries. In: SWAMY, R. N. (Ed.) **Natural fibre reinforced cement and concrete**. London: Blackie and Son Ltd, 1988. v. 5.
2. BENTUR, A.; MINDESS, S. **Fibre reinforced cementitious composites**. 2.ed. London; New York: Taylor & Francis, 2007.
3. CARRIJO, Osmar Alves et al. Produtividade do tomateiro em diferentes substratos e modelos de casas de vegetação. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v.22, n.1, p. 05-09, jun-mar. 2004.
4. CARRIJO, Osmar Alves; LIZ, Ronaldo Setti de; MAKISHIMA, Nozomu. Fibra de casca de coco verde como substrato agrícola. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v.20, n.4, p. 533-535, dez. 2002.
5. CHIN, Ooi Chin; SIDDIQUI, Kamal M. Characteristics of some biomass briquettes prepared under modest die pressures. **Biomass & Bioenergy**, v.18, p.223-228, 2000.
6. CUENCA, Manuel Alberto Gutiérrez et al. Mercado Brasileiro do Coco: Situação atual e perspectivas. In: ARAGÃO, Wilson Menezes (Ed.) **Coco: Pós-Colheita**. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2002.
7. DEFLO. Disponível em: <<http://www.deflor.com.br/portugues/home.html>>. Acesso em: 27 jan. 2009
8. FERREIRA, Odair Pastor et al. Ecomateriais: desenvolvimento e aplicação de materiais porosos funcionais para proteção ambiental. **Química Nova**, São Paulo, v. 30, n.2, mar/abr. 2007. ISSN 0100-4042.
9. GHAVAMI, Khosrow; TOLEDO FILHO, Romildo D.; BARBOSA, Normando P. Behaviour of composite soil reinforced with natural fibres. **Cement & Concrete Composites**, v.21, p. 39-48, 1999.
10. GRAM, H. Durability of natural fibres in concrete. In: SWAMY, R. N. (Ed.) **Natural fibre reinforced cement and concrete**. London: Blackie and Son Ltd, 1988. v. 5.
11. GRAM, H.E. **Durability of natural fibres in concrete**. Stockholm, Institute of Technology, 1990.
12. GRAM, H.E. **Durability of natural fibres in concrete**. Stockholm, Swedish Cement and Concrete Research Institute, 1983.
13. GRAM, H.E.; NIMITYOGSKUL, P. **Durability of natural fibers in cement-based roofing sheets**. Proceedings of the ESCAP/RILEM/CIB Symposium on Building Materials for Low Income Housing in asia and the Pacific, Bangkok, January, 1987, p. 328-334.



14. GUIMARÃES, S. da S. Some experiments in vegetable fiber-cement composites. **Informe Técnico do Centro de Pesquisa e Desenvolvimento-CEPED**. [S.l.]: CEPED, ano 2, n.30, set. 1987.
15. HUSSIN, M. W.; ZAKARIA, F. Prospects for coconut fibre reinforced thin cement sheets in the Malaysian construction industry. In: SOBRAL, H.S. (Col.). **Vegetable Plants and Their Fibres as Building Materials**: Proceedings of the Second International Symposium. London: E & FN Spon, 1990.
16. IBGE-PAM-2006. **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística**, SIDRA, Banco de Dados Agregados, Produção Agrícola Municipal. Disponível em: <<http://www.sidra.ibge.gov.br/bda/tabela/protabl.asp?z=t&i=P>>. Acesso em: 12 jul. 2008.
17. JOHN, V. M. et al. Durability of slag mortar reinforced with coconut fibre. **Cement & Concrete Composites**, v.27, p. 565-574, 2005.
18. JÚSTIZ-SMITH, N.G. et al. Potential of Jamaican banana, coconut coir and bagasse fibres as composite materials. **Mater Charact** (2008), doi: 10.1016/j. matchar.2007.10.011.
19. KHEDARI, J. et al. New lightweight composite construction materials with low thermal conductivity. **Cement & Concrete Composites**, v. 23, p.65-70, 2001.
20. LEVY NETO, F.; PARDINI, L.C. **Compósitos estruturais: ciência e tecnologia**. São Paulo: Edgard Blücher, 2006.
21. LI, Zhijian; WANG, Lijing; WANG, Xungai. Flexural characteristics of coir fiber reinforced cementitious composites. **Fibers and Polymers**, v.7, n.3, p. 286-294, 2006.
22. MEHTA, P.K.; MONTEIRO, J.M. **Concreto: estrutura, propriedades e materiais**. São Paulo: Pini, 1994.
23. NUNES, Maria Urbana Corrêa. Fibra e pó da casca de coco: produtos de grande importância para a indústria e a arquitetura. In: ARAGÃO, Wilson Menezes (Ed.) **Coco: Pós-Colheita**. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2002.
24. ORGANIZAÇÃO DE ALIMENTOS E DE AGRICULTURA DAS NAÇÕES UNIDAS-fao. **Produção de coco**. Disponível em: <<http://faostat.org.fao>>. Acesso em: 01 set. 2008.
25. PARAMASIVAM, P.; NATHAN, G.K.; GUPTA, N.C. das. Coconut fibre reinforced corrugated slabs. **International Journal of Cement Composites e Lightweight Concrete**, v.6, n.1, p. 19-27, feb. 1984.
26. PASSOS, Paulo Roberto de Assis. **Destinação sustentável de cascas de coco (*Cocos nucifera*) verde: obtenção de telhas e chapas de partículas**. 2005. 186f. Tese (Doutorado em Planejamento Energético) - Coordenação dos Programas de Pós-Graduação de Engenharia (COPPE), Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.
27. PEDRA, W. N.; MARINO, R.H. Cultivo axênico de *Pleurotus spp.* em serragem da casca de coco (*Cocos nucifera*) suplementada com farelo de arroz e/ou de trigo. **Arq. Inst. Biol.**, São Paulo, v.73, n.2, p. 219-225, abr./jun. 2006.
28. POEMATEC. Disponível em: <<http://www.poematec.com.br/produtos.htm>>. Acesso em: 27 jan. 2009.
29. RIBAS SILVA, M. **Étude de la microstructure du béton sous l'influence variations hygrométriques importantes**. Paris: Laboratoire Central des Ponts et Chaussées. Série Ouvrages d'Art OA10, 1990. 220p.
30. SALAZAR, Vera Lúcia Pimentel; LEÃO, Alcides Lopes. Biodegradação das fibras de coco e de sisal aplicadas na indústria automotiva. **Revista Energia na Agricultura**, Botucatu, v.21, n.2, p. 99-133, 2006.
31. SANTOS, Arnaldo Alves dos. **Dados sobre a destinação final das cascas de coco gerada na Sococo Indústrias Alimentícias** [mensagem pessoal]. Mensagem recebida por <vanessaluciacarneiro@yahoo.com.br> em 14 ago. 2008.
32. SAVASTANO JR, H.; AGOPYAN, V.; OLIVEIRA, L. Estudo da microestrutura das fibras vegetais e de suas implicações sobre o desempenho de compósitos cimentícios. **Revista Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.17, n.1, p. 113-124, set. 1997.
33. SAVASTANO JR, H. et al. Plant fibre reinforced cement components for roofing. **Construction and Building Materials**, v. 13, p.433-438, 1999.
34. SAVASTANO JR, H; PIMENTEL, L.L. Viabilidade do aproveitamento de resíduos de fibras vegetais para fins de obtenção de material de construção. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.4, n. 1, p. 103-110, 2000.
35. SENHORAS, Elói Martins. Oportunidades da Cadeia Agroindustrial do coco verde: do coco verde nada se perde, tudo se desfruta. **Revista Urutágua - Revista Acadêmica Multidisciplinar**, Maringá-PR, n.5, p. 1-9. dez./jan./fev./mar. 2005. ISSN 1519.6178.
36. SHIMIZU, G.; JORILLO JR, P. Coir fibre reinforced cement based composite. Part 1: Microstructure and properties of fibre-mortar. In: SWAMY, R.N. (Ed.). **Fibre Reinforced Cement and Concrete**: Proceedings of the Fourth RILEM International Symposium. London: E & FN Spon, 1992.



37. SILVA, A.C.; SOARES, R.N.; MATOS, E.V. Produção de componentes construtivos com utilização de terra crua e fibra de coco: alternativa socioeconômica e ambiental para habitação. In: CONFERÊNCIA BRASILEIRA DE MATERIAIS E TECNOLOGIAS NÃO-COVENCIONAIS: MATERIAIS E TECNOLOGIAS PARA CONSTRUÇÕES SUSTENTÁVEIS-BRASIL NOCMAT 2006, 2006, Salvador, Bahia, Brasil. **Anais...**Salvador: abmtenc/UFBA, 2006. v.1.
38. SILVA, Orildo Sávio de Oliveira et al. **Aceitabilidade de produtos para a construção civil produzidos à base de fibra de coco na visão de especialistas do setor: um estudo de caso para a cidade de Natal.** 2003. Artigo apresentado como pré-requisito para a disciplina Oficina de Metodologia de Pesquisa, Mestrado de Engenharia de Produção, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, fev. 2003.
39. SILVEIRA, Mônica Silva. **Aproveitamento das cascas de coco verde para produção de briquete em Salvador-BA.** 2008. 164f. Dissertação (Mestrado em Gerenciamento e Tecnologias Ambientais no Processo Produtivo-Ênfase em Produção Limpa)- Escola Politécnica, Universidade federal da Bahia, Salvador.
40. TOLEDO FILHO, R.D. et al. Development of vegetable fibre-mortar composites of improved durability. **Cement & Concrete Composites**, v.25, p. 185-196, 2003.
41. TOLEDO FILHO, R.D. et al. Durability of alkali-sensitive sisal and coconut fibres in cement mortar composites. **Cement & Concrete Composites**, v.22, p. 127-143, 2000.
42. TOLEDO FILHO, Romildo Dias; LIMA, P.R.L.; GHAVAMI, K. Flexural Toughness of sisal and coconut fibre reinforced cement mortar composites. In: FOURTH INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON NATURAL POLYMERS AND COMPOSITES, 2002, São Pedro. **Anais...** São Pedro: 2002, p. 465-472.
43. TOMCZAK, Fábio; SYDENSTRICKER, Thais Helena Demétrio; SATYANARAYANA, Kestur Gundappa. Studies on lignocellulosic fibers of Brazil. Part II: Morphology and properties of Brazilian coconut fiber. **Composites Part A: applied science and manufacturing**, v. 38, p. 1710-1721, 2007.
44. van Dam, Jan E.G. et al. Process for production of high density/high performance binderless boards from whole coconut husk. Part 1: Lignin as intrinsic thermosetting binder resin. **Industrial Crops and Products**, v.19, p.207-216, 2004.
45. VILELA, Pierre. **Coco verde.** Disponível em: <http://www.portal.sebrae.com.br/setor/fruticultura/o-setor/frutas/coco-verde/coco-1031/BIA_1031/integra_bia>. Acesso em: 29 set. 2007.

AGRADECIMENTO

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado da Bahia (FAPESB), pelo apoio financeiro.